doi:10.13866/j.azr.2018.05.24

塔城地区棉花生育期需水量变化的气候响应①

薛亚荣　巴特尔·巴克　罗那那　康丽娟　王孟辉
(新疆农业大学草业与环境科学学院,新疆 乌鲁木齐　830052)

摘　要: 为了探究塔城地区棉花生育期需水量的变化趋势,进而研究其变化趋势与气象因子之间的关系,为气候变化影响下棉花的灌水排水提供理论基础和科学依据。利用塔城地区 1961—2013 年逐日气温、降水、日照时数、风速、相对湿度等数据进行整合运算,计算塔城地区近 53 a 棉花的需水量和灌溉需水量,并探究其对气候变化的响应。结果表明:① 近 53 a,塔城地区棉花需水量总体呈减少趋势,花铃期减少趋势尤为显著,气候倾向率为 -1.51 mm·(10a)$^{-1}$;棉花需水量在花铃期为 103.96 mm,且高于其他生育期。② 棉花的灌溉需水量总体上呈现出减少趋势,其中花铃期灌溉需水量最大,均值为 77.79 mm,花铃期减少趋势最为明显(气候倾向率为 -2.90 mm·(10a)$^{-1}$,$P<0.01$)。③ 气象因子与棉花各生育期的需水量以及灌溉需水量之间呈现出很强的相关性,在气象因子中,对棉花灌溉需水量影响最大的是降水。

关键词: 作物需水量; 灌溉需水量; 气候因子; 棉花; 塔城地区

作物需水量是灌溉决策和水资源规划的重要基础[1],不同作物的需水量不同且作物需水量也会随着生育期的变化而变化。气候要素如气温、降水等很大程度上影响作物需水量。国内外学者在气候因子以及科学试验观测的基础上,从各个角度对多种作物的需水量、蒸散量、灌溉需求指数等方面进行了一些研究。国内研究者如金建华等[2]基于农田水量平衡原理,对运城地区 2006—2008 年的棉花需水量规律进行了探究,得出灌溉对棉花产量的增加具有很大影响。王小静[3]对作物生育期内需水量和灌溉需水量的时空分布进行了研究,得出了作物需水量和气候变化之间的关系。崔日鲜等[4]基于气象数据分析了山东棉花产区棉花生育期的降水量和作物需水量的时空变化特征。李萍等[5]基于单因素敏感性分析法,探讨了农业需水量对气候变化的响应。顾晶等[6]针对气候变化对作物需水量的影响,研究了主要气象因子和作物需水量的变化趋势。刘玉春等[7]基于河北省棉区的气象资料,分析了棉花的灌溉需水量及灌溉需求指数。王静等[8]通过计算宁夏灌溉区主要作物需水量,分析了其时空分布特征。姜雨林等[9]基于 SIMETAW 模型分析了气候变化背景下,东北垦区春小麦生育期作物需水量和灌溉需水量的时空变化特征。轩俊伟等[10]采用 FAO 推荐的 Penman-Monteith 公式和作物系数法,得到了近 50 a 来新疆垦区小麦全育期和各生长阶段的小麦需水量特征。吴燕锋等[11]利用石河子小麦种植区 1954—2012 年气温、降水、日照等气象数据,计算了近 59 a 石河子地区冬小麦的作物需水量和灌溉需水量,并探究了其气候趋势变化的影响。

新疆是中国四大棉区之一,但是新疆水资源匮乏且时空分布不均,农业用水在总水量中占很大比重,因此,了解主要农作物需水量的时空分布现状,是新疆水资源科学合理配置的重要基础。塔城地区是新疆棉区的主要构成部分,探讨气候变化背景下塔城棉花作物需水量和灌溉需水量特征对棉区经济发展具有重要意义,但是当前对塔城地区棉花各生育期灌溉需水量和作物需水量的研究较少[12]。因此,本文利用塔城地区近 53 a 的气象数据分析了该区棉花各生育期作物需水量和灌溉需水量的变化情况,进而得出需水量和气象因子之间的关系,为气候变化影响下棉花的灌水排水提供理论基础和科学依据。

① **收稿日期:** 2017-12-18; **修订日期:** 2018-01-18
基金项目: 国家国际科技合作计划资助(2010DFA92720-13);新疆维吾尔自治区土壤学重点学科项目资助
作者简介: 薛亚荣(1991-),女,硕士研究生,研究方向为干旱区生态与环境方向. E-mail:xueyarong314@163.com
通讯作者: 巴特尔·巴克. E-mail: bateerbake@163.com

1 数据来源与研究方法

1.1 研究区概况

塔城地区位于新疆西北部,伊犁州的中部,处于82°16′~87°21″E,43°25′~47°15′N 之间,下辖额敏、裕民、托里、沙湾、和布克赛尔5县和塔城、乌苏2市,各站点分布如图1,辖区总面积达 1.05×10^5 km^2,占新疆总面积的6.12% 。该区地域广大,地形复杂,降水时空分布不均,生态脆弱,地区南部为灌溉农业,北部灌溉农业和雨养农业并存,是新疆重要的商品棉基地。塔城地区主要的棉花种植区在乌苏、沙湾、和布克赛尔和托里南部,其中乌苏、沙湾是该区的高质量商品棉产区,可以看出,塔城地区在新疆棉花生产中具有极其重要的地位,研究塔城地区棉花生育期需水量的变化很有必要。

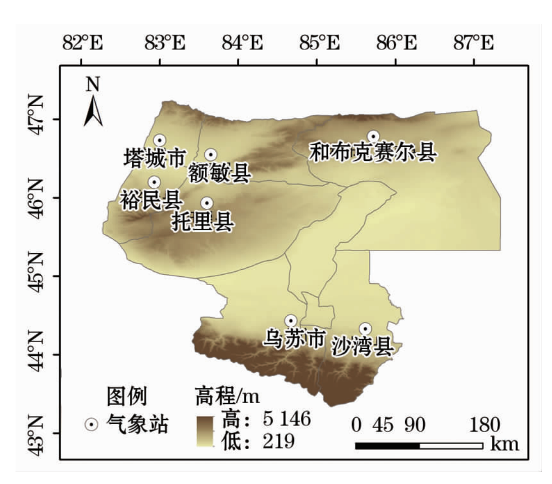


图1 塔城地区气象站点分布示意图

Fig. 1 Distribution of the meteorological stations in Tacheng Prefecture

1.2 数据来源

本文所用资料来自国家气象信息中心1961—2013年额敏县、裕民县、托里县、沙湾县、和布克赛尔县和塔城市、乌苏市共7个气象站的逐日气温、降水、日照时数、风速、相对湿度等资料。

1.3 研究方法

1.3.1 棉花需水量 采用联合国粮农组织(FAO)推荐的 Penman-Monteith 公式[13]计算,棉花需水量(ET_c)的计算公式如下[14]:

$$ET_c = ET_0 \times K_c \quad (1)$$

式中:ET_0 表示参考作物需水量(mm)。K_c 表示作物系数,塔城地区棉花生育期和作物系数分别为[15]:苗期(05-01—06-19,$K_c=0.25$);现蕾期(06-20—07-15,$K_c=0.47$);花铃期(07-16—08-11,$K_c=1.76$);吐絮期(08-12—09-30,$K_c=0.14$);全生育期(05-01—09-30,$K_c=0.55$)。

1.3.2 棉花灌溉需水量 水资源中对大气降水起调蓄作用的主要是土壤水和地下水,作物需水量减去有效降水量即为灌溉需水量,用 IR 表示[16],计算公式如下:

$$IR = ET_c - P_e \quad (2)$$

式中:IR 表示作物灌溉需水量(mm);P_e 表示作物生育期有效降水量(mm)。

2 结果与分析

2.1 棉花各生育期作物需水量的变化特征

由图2可以看出,过去53 a,塔城地区棉花作物需水量的变化趋势因生育期不同而表现出明显差异,各个生育期在变化趋势上均呈减少趋势。花铃期减少趋势尤为明显,气候倾向率是 -1.51 mm·(10a)$^{-1}$;现蕾期气候倾向率为 -0.93 mm·(10a)$^{-1}$;吐絮期气候倾向率为 -0.72 mm·(10a)$^{-1}$;苗期气候倾向率为 -0.66 mm·(10a)$^{-1}$;从作物需水量来看,通过计算各生育期的平均需水量,得出花铃期棉花需水量最大,达103.96 mm,其次是现蕾期(71.70 mm)、苗期(63.15 mm),棉花需水量最少的是吐絮期(28.44 mm)。

2.2 棉花不同生育期灌溉需水量变化特征

从图3可以看出,各生育期棉花的灌溉需水量都表现为减少趋势,花铃期减少趋势最为明显〔气候倾向率为 -2.90 mm·(10a)$^{-1}$,$P<0.01$〕,苗期、吐絮期次之,气候倾向率依次是 -2.22 mm·(10a)$^{-1}$,-1.65 mm·(10a)$^{-1}$。现蕾期减少趋势不明显。在棉花4个生育期中,花铃期灌溉需水量最大,均值达77.79 mm,现蕾期、苗期次之,均值依次是45.19 mm 和20.41 mm。吐絮期灌溉需水量最低,为0.64 mm。全生长期棉花平均灌溉需水量为144.04 mm。

2.3 成因分析

2.3.1 棉花生育期气候要素变化特征 通过分析塔城地区棉花各个生育期气候因子的变化趋势(表1),不难看出,在棉花全生长期,平均相对湿度、日照时数、平均风速、降水量均呈减少趋势,平均水汽压和平均气温均呈减少趋势。除了花铃期,其他各个生育期平均相对湿度均呈减少趋势,苗期的减少

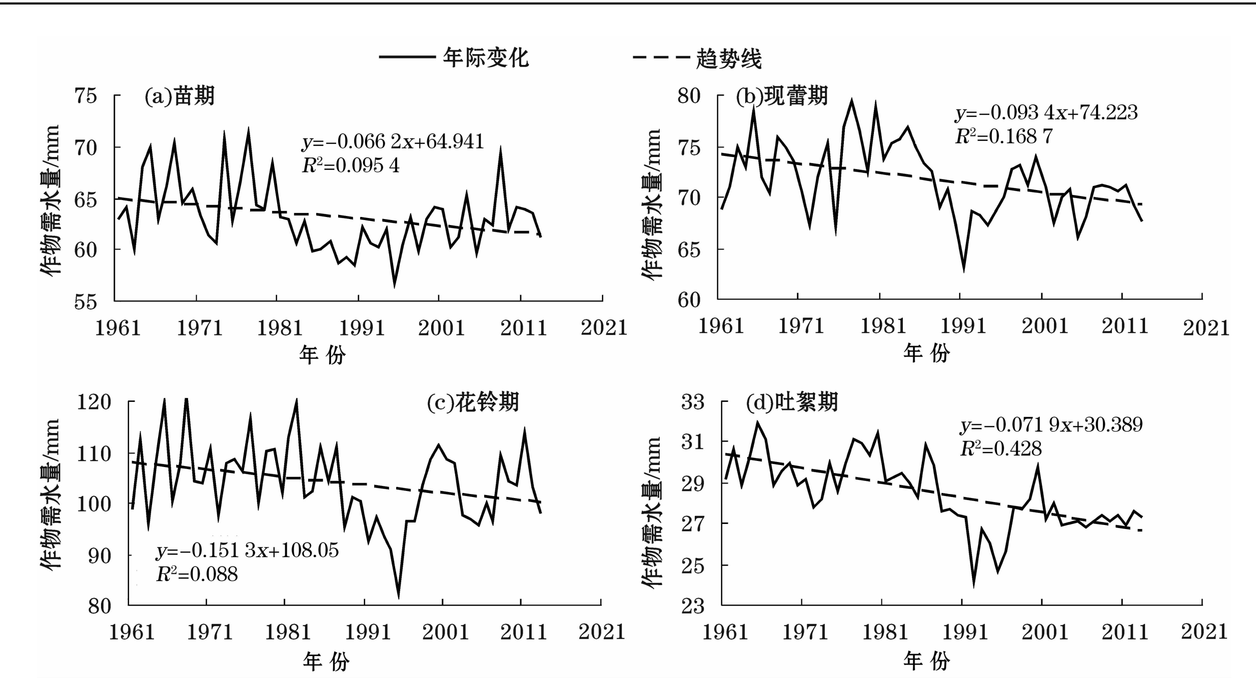


图 2 棉花不同生育期需水量的变化特征

Fig. 2 Change of water demand of cotton plant in different growing seasons

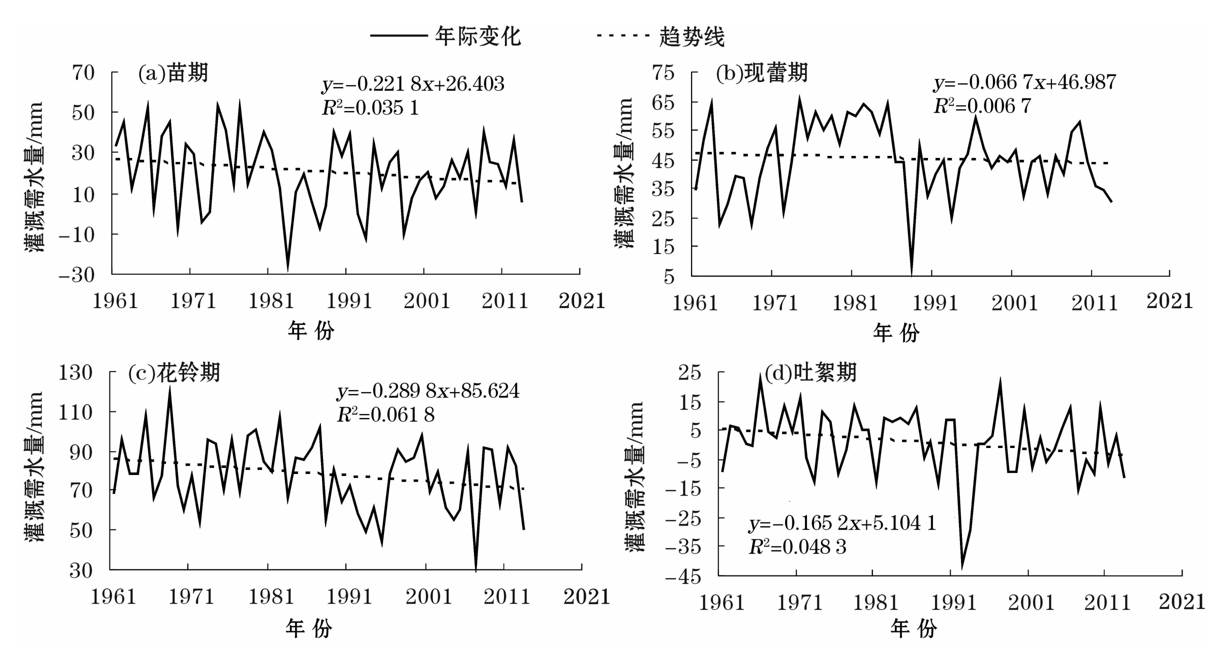


图 3 棉花不同生育期灌溉需水量的变化特征

Fig. 3 Change of irrigation water volume of cotton plant in different growing seasons

表 1 棉花不同生育期气候因子变化趋势

Tab. 1 Trend of climatic factors in different growing seasons of cotton plant

气象因子	平均相对湿度/℃	日照时数/h	平均水汽压/hPa	平均风速/(m・s⁻¹)	平均气温/℃	降水量/[mm・(10a)⁻¹]
苗期	-0.386	-0.021	0.970	-0.301	0.215	0.031
现蕾期	-0.102	-0.071	2.007	-0.307	0.287	-0.009
花铃期	0.107	-0.194	2.115	-0.276	0.266	0.048
吐絮期	-0.106	-0.093	1.627	-0.292	0.367	0.016
全生长期	-0.140	-0.084	0.786	-0.295	0.372	-0.023

趋势较其他各生育期大。棉花各生育期的日照时数也呈减少趋势,平均水汽压在各个生育期均呈增加趋势,且现蕾期和花铃期增加趋势最明显,达到了2.0以上。平均风速在棉花全生长期及各个生育期均呈减少趋势。棉花全生长期平均温度呈现出显著的增加趋势,并在各生育期都呈明显的增加趋势,吐絮期增加趋势尤为显著。降水量在全生长期内呈轻微的减少趋势,各个生育期除现蕾期呈极小的减少趋势外,其他各生育期降水量均呈增加趋势,与其他生育期相比,花铃期的增加趋势最明显。通过分析得出,塔城地区气候和整个新疆的气候变化趋势一致,均呈暖湿化的变化趋势。然而,由于水热资源在年际分配上有所差异,棉花生育期内水热资源增势也有所不同。

2.3.2 作物需水量与气候要素的关系 为深入研究塔城地区棉花各生育期作物需水量对气候因子的响应,笔者对各生育期棉花需水量和气候要素做了相关分析,结果如表 2 所示。从表 2 可以看出,全生长期的棉花需水量与日照时数、平均风速呈正相关,其中与平均风速的相关性呈现出极显著的特点。与平均相对湿度、平均水汽压、平均气温和降水量都呈负相关,且与平均相对湿度的相关性最高。气象因子与棉花需水量的关系因生育期的不同而有所差异。平均相对湿度在苗期、现蕾期、花铃期、吐絮期都与棉花生育期作物需水量呈负相关,且在棉花的苗期、花铃期、吐絮期均呈现出极显著的负相关。日照时数与棉花作物需水量呈正相关,且在花铃期达到极显著水平,苗期、现蕾期、吐絮期均达到显著水平。平均水汽压与棉花作物需水量在各个生育期均呈负相关,并且在苗期、花铃期、吐絮期达到极显著水平。各生育期平均风速与棉花生育期作物需水量都呈正相关,并且在苗期、花铃期、吐絮期都达到了极显著水平。平均温度与棉花作物需水量在全生长期呈负相关,且不显著,在其余各生育期均呈正相关,并且与苗期的相关性达到了极显著水平。降水量与棉花作物需水量的相关性在每个生育期均呈负相关,且在苗期和花铃期均呈现出极显著水平。

2.3.3 灌溉需水量与气候要素的关系 为深入研究塔城地区棉花各生育期灌溉需水量对气候因子的响应,依次对棉花各生育期灌溉需水量和气候要素做相关分析,结果如表 3 所示。可以看出,全生长期,棉花灌溉需水量与平均相对湿度、平均水汽压和降水量呈极显著的负相关关系,且与降水量相关性极强;与日照时数、平均气温和平均风速呈正相关,其中与日照时数和平均风速的相关性达到了极显著的水平。在各生育期,平均相对湿度和棉花各生育期灌溉需水量均呈极显著负相关。日照时数与棉花各生育期灌溉需水量呈正相关,且都达到了显著水平。平均水汽压与棉花各生育期灌溉需水量均呈极显著负相关。平均风速在棉花各生育期与灌溉需水量均为正相关关系。平均气温与棉花各生育期灌溉需水量之间呈正相关,且在苗期、现蕾期、花铃期都

表 2 棉花不同生育期作物需水量与气候要素的关系

Tab. 2 Relationship between crop water demand and climatic factors in different growing seasons of cotton plant

气象因子	平均相对湿度	日照时数	平均水汽压	平均风速	平均气温	降水量
苗期	-0.486**	0.294*	-0.453**	0.379**	0.432**	-0.472**
现蕾期	-0.316*	0.302*	-0.306*	0.343*	0.186	-0.185
花铃期	-0.561**	0.446**	-0.497**	0.548**	0.301*	-0.483**
吐絮期	-0.401**	0.279*	-0.432**	0.753**	0.019	-0.314*
全生长期	-0.417**	0.296*	-0.246	0.573**	-0.020	-0.347*

注:* 表示在 0.05 水平显著,** 表示在 0.01 水平显著。下同。

表 3 棉花不同生育期灌溉需水量与气候要素的关系

Tab. 3 Relationship between irrigation water volume and climatic factors in different growing seasons of cotton plant

气象因子	平均相对湿度	日照时数	平均水汽压	平均风速	平均气温	降水量
苗期	-0.798**	0.599**	-0.616**	0.274*	0.532**	-0.987**
现蕾期	-0.766**	0.368**	-0.617**	0.177	0.430**	-0.961**
花铃期	-0.818**	0.633**	-0.701**	0.557**	0.456**	-0.920**
吐絮期	-0.763**	0.588**	-0.553**	0.313*	0.292*	-0.985**
全生长期	-0.810**	0.585**	-0.491**	0.437**	0.203	-0.949**

达到极显著水平。降水量与棉花各生育期灌溉需水量均呈极显著负相关,且相关性在每个生育期都达到0.01 显著水平。

3 讨 论

通过对作物全生育期及各生育期内作物需水量和灌溉需水量的分析,可以判断作物水分盈亏情况,并且可以为一个地方的排水灌溉制度提供科学依据[17-19]。

本文主要探讨了棉花各个生育期的作物需水量、灌溉需水量的变化情况及其二者与气象因子之间的相关性,得出花铃期作物需水量和灌溉需水量最大,这与前人的研究结论基本一致[17-18]。塔城地区棉花出现干旱灾害的风险一直较高[18],所以,在棉花花铃期合理科学的灌溉以及水资源的管理对于棉花的增产有重要意义。通过分析 1961—2013 年塔城气象因子的变化,得出平均气温、降水量总体呈增加趋势,这与刘伟等[20-22]的研究结果一致;日照时数呈减少趋势,这与范丽红等[23-24]的研究结果一致;在气温升高,降水增加的前提下,作物需水量和灌溉需水量必将减少。通过研究各生育期灌溉需水量发现,塔城地区棉花作物的生长对灌溉有很强的依赖性,棉花各生育期都呈现出缺水的状态,并且花铃期最为明显。这与罗那那等[25]的研究结果一致。在气候变化背景下,过去 53 a 塔城地区棉花需水量总体呈减少趋势,花铃期减少趋势最为明显,气候倾向率为 -1.51 mm·$(10a)^{-1}$;在气候暖湿化背景下,灌溉需水量总体也呈减少趋势,其中花铃期减少趋势最为明显,气候倾向率为 -2.90 mm·$(10a)^{-1}$。塔城地区降水量在过去 53 a 总体上呈逐渐增加趋势,花铃期的增加趋势最明显,为 0.048 mm·$(10a)^{-1}$(表 1)。所以,塔城地区棉花灌溉需水量的减少很大程度上取决于降水量的增加。棉花各生育期作物需水量与气象因子之间具有很强的相关性,平均相对湿度、平均水汽压和平均风速尤为明显,棉花灌溉需水量与气象因子的相关性在各个生育期均呈显著的正相关。全生育期作物需水量与平均相对湿度、平均水汽压、平均气温、降水量均呈明显的负相关,且与平均相对湿度的相关性达到极显著水平(表 2),灌溉需水量与相对湿度、平均水汽压和降水量之间呈现出极显著负相关关系,与日照时数、平均风速和平均气温之间呈正相关(表 3),平均相对湿度和平均风速呈减少趋势,日照时数、平均水汽压和降水量呈增加趋势(表 1),各气象因子对棉花作物需水量和灌溉需水量的影响非常重要且十分复杂,在新疆气候暖湿化的变化趋势下,对棉花作物需水量和灌溉需水量进行分析,进而对其进行科学合理的预测,对棉花的增产和当地经济的发展具有极为重要的作用。

4 结 论

(1) 过去 53 a,塔城地区棉花需水量整体上呈现出减少趋势,花铃期减少趋势最明显,气候倾向率为 -1.51 mm·$(10a)^{-1}$;棉花需水量最大的也是花铃期,均值为 103.96 mm。灌溉需水量整体上也呈现出减少趋势,其中花铃期灌溉需水量最大,均值为 77.79 mm,花铃期灌溉需水量的减少趋势最为明显,气候倾向率为 -2.90 mm·$(10a)^{-1}$,$P<0.01$。

(2) 气象因子与棉花各生育期作物需水量和灌溉需水量之间有很强的相关性,气象因子中,降水对灌溉需水量影响最大,其次是相对湿度和水汽压。在气候变化背景下,塔城地区棉花作物需水量呈减少趋势,随着降雨量的增加,灌溉需水量整体也呈减少趋势。

参考文献(References):

〔1〕 刘晓英,李玉中,郝卫平. 华北主要作物需水量近 50 a 变化趋势及原因〔J〕. 农业工程学报,2005,21(10):155 - 159.〔Liu Xiaoying,Li Yuzhong,Hao Weiping. Trend and causes of water requirement of main crops in North China in recent 50 years〔J〕. Transactions of the CSAE,2005,21(10):155 - 159.〕

〔2〕 金建华,解爱国,孙书洪,等. 运城地区棉花需水规律研究〔C〕//水力学与水利信息学进展. 2009:752 - 757.〔Jin Jianhua,Xie Aiguo,Sun Shuhong,et al. Research on cotton water requirement in Yuncheng〔C〕//Hydraulic Mechanics and Progress of Water Conservancy Informatics. 2009:752 - 757.〕

〔3〕 王小静. 西北旱区作物需水量对气候变化的响应〔D〕. 杨凌:西北农林科技大学,2014:23 - 34.〔Wang Xiaojing. Responses of Crop Water Requirements to Climate Change in Northwest Arid Regions〔D〕. Yangling:Northwest A & F University 2014:23 - 34.〕

〔4〕 崔日鲜,陈明利. 山东棉花生育期降水量和作物需水量的时空变化特征研究〔J〕. 青岛农业大学学报,2014,31(4):255 - 256.〔Cui RiXian,Chen MingLi. Spatial and temporal variations of precipitation and crop water requirement during cotton growth period in Shandong Province〔J〕. Journal of Qingdao Agricultural University,2014,31(4):255 - 256.〕

〔5〕 李萍,魏晓妹. 气候变化对灌区农业需水量的影响研究〔J〕. 水

资源与水工程学报,2012,23(1):81－85.〔Li Ping, Wei Xiaomei. Research on the impact of climate change on agricultural water requirement in irrigation district〔J〕. Journal of Water Resources and Water Engineering,2012,23(1):81－85.〕

〔6〕 顾晶,卢健,缴锡云,等. 近50年气候变化对黑龙港流域棉花需水规律的影响〔J〕. 江苏农业科学,2015,43(2):115－117.〔Gu Jing, Lu Jian, Jiao Xiyun, et al. Effect of climate change on the water requirement of cotton in Heilonggang Basin in recent 50 years〔J〕. Jiangsu Agricultural Sciences,2015,43(2):115－117.〕

〔7〕 刘玉春,姜红安,李存东,等. 河北省棉花灌溉需水量与灌溉需求指数分析〔J〕. 农业工程学报,2013,29(19):98－104.〔Liu Yuchun, Jiang Hongan, Li Cundong, et al. Analysis of irrigation water demand and irrigation demand index of cotton in Hebei Province〔J〕. Journal of Agricultural Engineering,2013,29(19):98－104.〕

〔8〕 王静,张晓煜,马国飞,等. 1961—2010年宁夏灌区主要作物需水量时空分布特征〔J〕. 中国农学通报,2015,31(26):161－169.〔Wang Jing, Zhang Xiaoyu, Ma Guofei, et al. Spatial and spatial distribution characteristics of main crop water requirement in Ningxia irrigation region from 1961 to 2010〔J〕. Chinese Agricultural Science Bulletin,2015,31(26):161－169.〕

〔9〕 姜雨林,尹小刚,王猛,等. 1961—2010年东北农作区春小麦需水量的时空变化特征〔J〕. 中国农业大学学报,2015,20(5):24－30.〔Jiang Yulin, Yin Xiaogang, Wang Meng, et al. Characteristics of spatial and temporal changes of water requirement of spring wheat in Northeast agricultural areas in 1961－2010〔J〕. Journal of China Agricultural University,2015,20(5):24－30.〕

〔10〕 轩俊伟,郑江华,刘志辉. 近50年新疆小麦需水量时空特征及气候影响因素分析〔J〕. 水土保持研究,2015,22(4):155－167.〔Xuan Junwei, Zheng Jianghua, Liu Zhihui. Spatiotemporal characteristics of water requirement of wheat as influenced by climate in Xinjiang in recent 50 years〔J〕. Research of Soil and Water Conservation,2015,22(4):155－167.〕

〔11〕 吴燕锋,巴特尔·巴克,罗那那,等. 石河子地区冬小麦生育期需水量变化特征及其气候成因〔J〕. 水土保持通报,2016,36(1):69－74.〔Wu Yanfeng, Bake Batur, Luo Nana, et al. Variation characteristics of water requirement and its climatic cause of winter wheat in growth period in Shihezi Region〔J〕. Bulletin of Soil and Water Conservation,2016,36(1):69－74.〕

〔12〕 曾胜和,付明鑫,张磊,等. 滴灌春小麦高效施肥技术试验研究〔J〕. 干旱区研究,2010,27(5):806－811.〔Zeng Shenghe, Fu Mingxin, Zhang Lei, et al. Preliminary study on high efficiency fertilization techniques of spring wheat under drip irrigation〔J〕. Arid Zone Research,2010,27(5):806－811.〕

〔13〕 Allen R G, Pereira L S, Raes D, et al. Crop evapo-transpiration: Guidelines for computing crop water re-quirements〔C〕//FAO Irrigation and Drainage Paper56. FAO, Rome, 1998, 300(9): D05109.

〔14〕 Karimov A K, Šimunek J, Hanjra M A, et al. Effects of the shallow water table on water use of winter wheat and ecosystem health: Implications for unlocking the potential of groundwater in the Fergana Valley(Central Asia)〔J〕. Agricultural Water Management, 2014, 131(1):57－69.

〔15〕 周瑾龙,虎胆·吐马尔白,董新光,等. 新疆平原区大气降水、灌溉水、土壤水与地下水转化关系研究〔M〕. 乌鲁木齐:新疆科技卫生出版,2002.〔Zhou Jinlong, Hudan Tumubai, Dong Xinguang, et al. Xinjiang Plain Area Atmospheric Precipitation, Irrigation Water, Soil Water and Groundwater Conversion Relationship〔M〕. Urumqi: Xinjiang Science and Technology Health Publishing,2002.〕

〔16〕 Tiwari K N, Kumar M, Santosh D T, et al. Influence of dripirrigation and plastic mulch on yield of sapota(achraszapota) and soil nutrients〔J〕. Irrigation & Drainage Systems Engineering, 2014(3):1－8.

〔17〕 王梅,杨倩,郑江华,等. 1963—2012年新疆棉花需水量时空分布特征〔J〕. 生态学报,2016,36(13):4 122－4 130.〔Wang Mei, Yang Qian, Zheng Jianghua, et al. Spatial and temporal distribution of water requirement of cotton in Xinjiang from1963 to 2012〔J〕. Acta Ecologica Sinica,2016,36(13):4 122－4 130.〕

〔18〕 陈超,庞艳梅,潘学标,等. 1961—2012年中国棉花需水量的变化特征〔J〕. 自然资源学报,2015,30(12):2 107－2 119.〔Chen Chao, Pang Yanmei, Pan Xuebiao, et al. Variation characteristics of water requirement of cotton in China during 1961－2012〔J〕. Journal of Natural Resources,2015,30(12):2 107－2 119.〕

〔19〕 刘钰,汪林,倪广恒,等. 中国主要作物灌溉需水量空间分布特征〔J〕. 农业工程学报,2009,25(12):6－12.〔Liu Yu, Wang Lin, Ni Guangheng, et al. Spatial distribution characteristics of irrigation water requirement for main crops in China〔J〕. Transactions of the CSAE,2009,25(12):6－12.〕

〔20〕 刘伟,姜逢清,李小兰. 新疆气候变化的适应能力时空演化特征〔J〕. 干旱区研究,2017,34(3):531－540.〔Liu Wei, Jiang Fengqing, Li Xiaolan. Spatiotemporal evolution of adaptive capacity to climate change in Xinjiang〔J〕. Arid Zone Research,2017,34(3):531－540.〕

〔21〕 贺晋云,张明军,王鹏,等. 新疆气候变化研究进展〔J〕. 干旱区研究,2011,28(3):500－507.〔He Jinyun, Zhang Mingjun, Wang Peng, et al. New progress of the study on climate change in Xinjiang〔J〕. Arid Zone Research,2011,28(3):500－507.〕

〔22〕 罗那那,巴特尔·巴克,吴燕锋. 石河子地区年冻融指数的多尺度变化特征〔J〕. 干旱区研究,2017,34(3):511－517.〔Luo Nana, Bake Batur, Wu Yanfeng. Multiscale variation of annual freezing and thawing Indexes in Shihezi〔J〕. Arid Zone Research, 2017,34(3):511－517.〕

〔23〕 范丽红,崔彦军,何清,等. 新疆石河子地区近40 a来气候变化特征分析〔J〕. 干旱区研究,2006,23(2):334－338.〔Fan Lihong, Cui Yanjun, He Qing, et al. Analysis on the climate change characteristics in the Shihezi Region, Xinjiang in recent 40 years〔J〕. Arid Zone Research,2006,23(2):334－338.〕

〔24〕 傅玮东,姚艳丽,毛炜峄. 棉花生长期的气候变化对棉花生产的影响——以新疆昌吉回族自治州为例〔J〕. 干旱区研究,

2009,26(1):142 - 148.〔Fu Weidong,Yao Yanli,Mao Weiyi. Effects of climate change on cotton production during cotton growth:A case study of Changji Hui Autonomous Prefecture in Xinjiang〔J〕. Arid Zone Research,2009,26(1):142 - 148.〕
〔25〕罗那那,巴特尔·巴克.北疆地区棉花作物需水量时空演变及其气象影响因子〔J〕.应用生态学报,2017,28(10):3 305 - 3 313.〔Luo Nana,Bake Batur. Spatio-temporal variation of water requirement and meteorological impact factors of cotton in North Xinjiang,China〔J〕. Chinese Journal of Applied Ecology,2017,28(10):3 305 - 3 313.〕

Climate Response to Water Demand of Cotton Plant in Growing Season in Tacheng Prefecture

XUE Ya-rong, BAKE Batur, LUO Na-na, KANG Li-juan, WANG Meng-hui
(*College of Prataculture and Environmental Science*,*Xinjiang Agricultural University*,*Urumqi* 830052,*Xinjiang*,*China*)

Abstract: In this study,the relationship between the change trend of water demand of cotton plant and the meteorological factors was lucubrated so as to explore the change trend of water demand of cotton plant in different growing seasons in Tacheng Prefecture. The purpose of the study was to provide the theoretical and scientific bases for the irrigation and drainage of cotton field under climate change. The data of daily air temperature,precipitation,sunshine duration,wind speed,relative humidity,etc. during the period from 1961 to 2013 were used to calculate the water demand and irrigation water volume of cotton plant in the study area in recent 53 years,and to explore its response to climate change. The results showed that: ① In recent 53 years,the water demand of cotton plant in Tacheng was generally decreased,particularly at the flowering and boll setting stage. The climate tendency rate was -1.51mm · $(10a)^{-1}$; the water demand of cotton plant was 103.96mm at the flowering and boll setting stage and higher than that in other growing seasons; ② Irrigation water volume of cotton plant was generally in a decrease trend,in which it was the highest at the flowering and boll setting stage,its average volume was 77.79 mm,and its reduction at the flowering and boll setting stage was the most obvious (the climatic tendency rate was -2.90 mm · $(10a)^{-1}$,$P<0.01$); ③ There was a high correlation between meteorological factors and the crop water demand and irrigation water volume in all the cotton growing seasons. Among the meteorological factors,the effect of precipitation was the most significant.

Key words: crop water demand; irrigation water volume; climatic factor; cotton; Tacheng Prefecture